

Tielaitos

Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991



NÄYTEKPL.

**Tielaitoksen
selvityksiä**

38/1991

Helsinki 1991

Tiehallitus



Tielaitoksen selvityksiä
38/1991

**Palvelutasomittareiden
vertailumittaukset 1991**

Tielaitos
Tiehallitus

Helsinki 1991

ISBN 951-47-4983-9
ISSN 0788-3722
TIEL 3200008
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1991

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 1541

TIIVISTELMÄ

Tielaitoksessa on käytetty erilaisia palvelutasomittareita teiden kunnon mittaamiseen vuodesta 1987 alkaen. Palvelutasomittarit on pyritty rakentamaan siten, että niiden antamat tulokset ovat keskenään yhteismitallisia. Tämän varmistamiseksi on tehty vertailumittauksia.

Edellisten vertailututkimusten tulokset antoivat viitteitä, että eri autojen mittaustulosten yhteismitallisuus ja toistettavuus eivät ole urien osalta kunnossa. Käytössä on myös yksi uusi palvelutasomittari, uudet anturit (VTT) ja uusia ohjelmaversioita, joten kaikki autot ovat nyt teknisesti samanlaisia. Nämä tekijät ovat antaneet aiheen tämän tutkimuksen tekemiselle. Tämän tutkimuksen tavoitteena on jatkaa vertailumittausprosessia ja samalla selvittää palvelutasomittareiden antamien tulosten sisäistä ja ulkoista luotettavuutta (reliabiliteetti ja validiteetti).

Tiehallituksen käytössä on tällä hetkellä 5 palvelutasomittaria (4 omaa ja 1 VTT:n). Tutkimusta varten näillä autoilla mitattiin noin 85 kilometrin reitti päällystettyjä teitä kahteen kertaan KUNTO-ohjelman testaamiseksi sekä joukko muita osuuksia LAATU-ohjelman, tarkkojen mittausten ja eräiden muiden kysymysten tutkimista varten. Koejärjestely järjestettiin siten, että tulokset mahdollistivat tilastollisesti luotettavan analyysin.

Tutkimus koostuu kuudesta osaongelmasta. Näitä ovat autojen ulkoinen ja sisäinen luotettavuus (KUNTO-ohjelma), LAATU-ohjelman tulosten vertailu, ajolinjojen vaikutuksen vertailu, palkkien pituuden vaikutuksen analysointi sekä autojen antamien tulosten vertailu muilla mittareilla mitattuihin tarkkoihin arvoihin. Tutkimuksen päätulokset voidaan tiivistää seuraavasti:

- autojen välillä on hieman eroja urasyvyyden ja uraisuuden suhteen taseisuuden (IRI) suhteen ei ole merkittäviä eroja
- mittausten toistettavuus on kaikilla muuttujilla ja autoilla erittäin hyvä
- LAATU-ohjelman antamat tulokset ovat keskenään samankaltaisia kaikilla autoilla
- ajolinjojen valinta vaikuttaa huomattavasti tuloksiin
- mittausnopeudella ei ole vaikutusta tuloksiin
- palkkien pituuden vaihtelulla on selvät vaikutukset
- autojen antamat tulokset poikkeavat merkitsevästi Dipstickillä ja profilometrillä mitatuista tuloksista
- erot verrattuna edelliseen vertailututkimukseen ovat pienentyneet huomattavasti

Tutkimuksessa saadut tulokset osoittavat jälleen, että eri palvelutasomittareiden antamien tulosten tarkkailu esim. säännöllisten vertailumittausten muodossa on välttämätöntä tulosten yhteismitallisuuden varmistamiseksi.

ABSTRACT

Finnish National Road Administration (FinnRA) has been utilizing various modern road condition measurement vehicles since 1987. All vehicles are designed to produce comparable results with each other. For ensuring this comparative measurements have been executed.

The latest comparative measurements gave some evidence on rather low reliability and validity of results gained in the case of rut depth. In addition, one new vehicles, new censors and software versions are now in use. These factors have created need for this study. The aim of this study is mainly continue comparison process and to compare reliability and validity of Finnish road condition measurement vehicles.

FinnRA is nowadays using five road condition measurement vehicles. With all these vehicles a route of 85 kilometers of paved roads was measured twice for this study. In addition, several other sections were inspected for LAATU-program, for absolute values and for some special questions. The design of experiment was done carefully to ensure validity of statistical analysis.

This study consists of six sub-problema. These are reliability, validity (KUNTO), calibration, comparison of LAATU-program, comparison with absolute values and other special questions. The main results can be recapituled as follows:

- validity problems occur in rutting and transversal roughnes, validity is high on longitudinal roughness (IRI)
- reliability is very high on all variables
- calibration to same level is statistically possible
- all results differ significantly from absolute values
- LAATU-results are similar on all vehicles
- measuring speed does not effect on results
- selection of beam length has clear effects on results
- differences compared to previous measurements are smaller

The results of this study strongly support the need of repeated test measurements.

SAMMANDRAG

Vägstyrelsen har använt olika servicenivåmätare för mätning av vägars tillstånd sedan 1987. Man har strävat till att få resultaten från dessa sinsemellan jämförbara. För detta mål har man uppfört jämförelsemätningar mellan servicenivåmätare.

Resultaten från den föregående jämförande mätningen antydde att de olika bilarnas mätresultat av spår djup och vertikal jämnhet inte nödvändigtvis var noggranna, ej heller jämförbara sinsemellan. Dessutom används en ny servicenivåmätare, nya mätningssensorer och nya program (bla. "LAATU" för kvalitetskontroll av ny vägbeläggning). Målsättningen för denna undersökning är att fortsätta jämförelsemätningssprocess, klargöra den yttre och inre tillförlitligheten (reliabilitet och validitet) hos mätresultaten, som de olika servicenivåmätarna ger.

Vägstyrelsen har för tillfället fem servicenivåmätare i användning. För denna undersökning uppmättes med dessa en rutt bestående av ca. 85 kilometer beläggd väg två gånger samt några andra avsnitt för undersökning av noggrann mätning, för "LAATU" och för andra frågor. Man strävade till att arrangera proven så att resultaten skall kunna analyseras på ett tillförlitligt sätt.

Undersökningen omfattar sex delproblem. Dessa är bilarnas yttre och inre tillförlitlighet, kalibrering av resultaten till samma nivå, jämförelse av resultaten från LAATU-programmet samt jämförelse av resultaten från mätbilarna med på annat sätt uppmätta noggranna värden och forskning av speciella frågor. De huvudsakliga resultaten av undersökningen kan sammanfattas på följande sätt:

- Skillnaden mellan bilarna är synbar var maximispår djup och spårighet beträffar. Jämnhet (IRI) ger ingen skillnad.
- För jämnhet är noggrannheten mycket god samt för spår djup och maximispår djup mycket god.
- Avvikelsen mellan resultaten från bilarna och resultaten uppmätta med dipstick och profilometer är signifikant.
- För alla bilar ger LAATU-programmet överensstämmande resultat.
- balklängden ger skillnaden till resultaten.
- mätningshastigheten ger ingen skillnad till jämnhetsresultat.

Undersökningen visar att det är nödvändigt att följa upp resultaten från de olika servicenivåmätarna, tex. med regelbunda jämförelsemätningar, för att säkerställa att de är sinsemellan jämförbara.

ALKUSANAT

Tielaitoksessa on käytetty erilaisia palvelutasomittareita teiden kunnon mittaamiseen vuodesta 1987 alkaen. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää nykyisin käytössä olevien palvelutasomittareiden antamien tulosten reliabiliteettia ja validiteettia. Lisäksi tutkitaan muutamaa kiinnostavaa erityisongelmaa.

Työ on koostunut kolmesta eri vaiheesta: suunnittelu, mittaus ja tulosten analysointi. Tämä raportti keskittyy tulosten analysointiin ja aiemmista vaiheista kerrotaan vain tarpeen mukaan. Työhön ovat osallistuneet insinööri Arto Tevajärvi ja erikoistutkija Riitta Olsonen Tiehallituksesta sekä dosentti, FT Antti Kanto (tilastolliset menetelmät ja analyysit) ja fil.maist. Vesa Männistö (mittausten suunnittelu ja tutkimusraportin kirjoittaminen) Statistical Computing Oy:stä. VTT:n puolesta päätyön on tehnyt insinööri Antti Seise.

Tutkimuksen tekijät haluavat esittää syvimmät kiitokset kaikille tutkimukseen osallistuneille. Erityistä kiitosta ansaitsevat eri palvelutasomittareiden mittausmiehistöt hyvästä ja joustavasta yhteistyöstään.

Sisältö	
<u>TIIVISTELMÄ</u>	<u>3</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>4</u>
<u>SAMMANDRAG</u>	<u>5</u>
<u>ALKUSANAT</u>	<u>6</u>
<u>1. JOHDANTO JA TUTKIMUSONGELMA</u>	<u>7</u>
<u>2. MITTAUSTEN VALMISTELU JA SUORITUS</u>	<u>8</u>
<u>3. TUTKIMUSAINEISTO</u>	<u>10</u>
<u>4. MITTAUSTEN TOISTETTAVUUS</u>	<u>10</u>
4.1. Yhteenveto	11
<u>5. AUTOJEN VÄLISET EROT</u>	<u>12</u>
5.1. Urasyvyys	12
5.2. Uraisuus	12
5.3. Tasaisuus	12
5.4. Yhteenveto tuloksista	16
5.5. Palvelutasomittareiden kalibrointi samalle tasolle	16
<u>6. TARKAT MITTAUKSET</u>	<u>16</u>
6.1. Tie 301, uusi öljysora	16
6.2. Tie 11, vanha AB	17
6.3. Yhteenveto	18
<u>7. LAATU-OHJELMAN TULOKSET</u>	<u>18</u>
<u>8. MUUT ERITYISKYSYMYKSET</u>	<u>19</u>
8.1. Palkkien pituuden vaikutus	19
8.2. Ajolinjojen vaikutus	21
8.3. Mittausnopeuden vaikutus	23
8.4. KULJETTAJIEN VAIKUTUS	23
8.5. Heittojen ja painumien sijainti	24
<u>9. MITTAREIDEN ITSENÄINEN KALIBROINTI</u>	<u>25</u>
<u>10. PÄÄTELMÄT</u>	<u>25</u>
10.1. Sisäinen luotettavuus	26
10.2. Palvelutasomittareiden väliset erot	26

10.3. Tarkat arvot	26
10.4. LAATU-ohjelma	26
10.5. Palkin pituus ja ajolinjat	26
10.6. Mittausnopeus	26
10.7. Kuljettajien vaikutus	26
10.8. Heitot ja painumat	26
<u>11. KIRJALLISUUSLUETTELO</u>	<u>27</u>
<u>Liite 1. MITTAUSREITIN KARTTA</u>	<u>28</u>
<u>Liite 2. OSANOTTAJALUETTELO</u>	<u>29</u>
<u>Liite 3. TIEOSAKOHTAISET KESKIARVOT</u>	<u>30</u>
Tieosakohtaiset keskiarvot urasyvyydelle	30
Tiekohtaiset keskiarvot uraisuudelle	30
<u>Liite 4. TARKENNUS EDELLISEEN VERTAILUUN</u>	<u>32</u>

1. JOHDANTO JA TUTKIMUSONGELMA

Päällystettyjen teiden kuntoa mitataan yleisesti ns. palvelutasomittareiden avulla. Tielaitoksen käytössä on tällä hetkellä 4 omaa (ja yksi VTT:n) eri aikoina valmistettua samantyyppistä palvelutasomittaria, jotka perustuvat ultraääni- ja lasertekniikkaan. Autot ovat sijoittuneet eri puolille maata seuraavasti:

Auto H	Hämeen ja Vaasan piiri
Auto T	Turun ja Uudenmaan piiri
Auto Ka	Tiehallituksen auto, Kainuun ja Lapin piiri
Auto Kp	Keski-Pohjanmaan ja Oulun piiri
Auto V	VTT:n auto, Espoo.

Kaikki palvelutasomittarit on pyritty rakentamaan ja kalibroimaan siten, että ne mittaisivat yhtä luotettavasti ja samalla asteikolla yhteisesti määritellyjä päällystetyillä teillä käytettyjä kuntomuuttujia. Tämän tutkimuksen kannalta näitä tärkeitä muuttujia ovat:

<i>nimi</i>	<i>yksikkö</i>	<i>lyhenne</i>
Urasyvyys	mm	URA
Uraisuus	mm/m	UR AIS
IRI (tasaisuus)	mm/m	IRI

Edellisiin vertailututkimuksiin (/1/ ja /2/) osallistuivat VTT:n auto ja yksi ruotsalaisen RST- Swedenin auto (1989) sekä autot H, V, T ja Ka (1990). Näissä kahdessa tutkimuksessa havaittiin, että sekä laitteiden reliabiliteetissa että validiteetissa on eroja. Saatujen tulosten pohjalta ja uusien autojen rakentamisen jälkeen on käynyt selväksi, että saatavien tulosten yhteismittallisuus ei ole itsestään selvää vaan sitä pitää tarkkailla mahdollisimman usein vertailumittauksin. Eri palvelutasomittareiden validiteetin ja reliabiliteetin arviointi muodostaa tämänkin tutkimuksen perustan.

Tutkittavat osaongelmat ovat seuraavat:

- testiajo
- autojen sisäinen luotettavuus (reliabiliteetti)
- autojen välinen luotettavuus (validiteetti)
- vertailu tarkkoihin mittauksiin
- LAATU-ohjelman tulosten analysointi
- palkin pituuden vaikutus
- ajolinjojen vaikutus
- kuljettajien vaikutus
- heittojen ja painumien sijainti

Osaongelmat 1-8 tutkitaan tämän raportin kappaleissa 4-8. Esityksen toisessa luvussa kerrotaan vertailumittauksiin liittyvistä yleisistä asioista, kolmannessa luvussa esitellään tutkimusaineisto (ja testiajon tulokset) ja viimeisessä luvussa esitetään tuloksista tehtävät päätelmät ja tarvittavat jatko-toimenpiteet.

Aineiston tilastollinen käsittely on suoritettu pääasiassa SAS-ohjelmiston avulla. Tilastolliset menetelmät ovat olleet varianssianalyysi ja regressioanalyysi. Testauksessa on käytetty t-testiä, F-testiä ja SNK-testiä (Student-Neumann-Keuls) /3/, joissa riskitasoiksi on valittu 5 %.

2. MITTAUSTEN VALMISTELU JA SUORITUS

Vertailumittausten tavoitteena on tutkia mittauslaitteiden käyttäytymistä normaalissa työssä. Tämän takia vertailun käytännön suorituksessa pyrittiin aiempaan tapaan työskentelemään mahdollisimman paljon tuotantomittausten luonteisesti.

Mittausten valmistelu sisälsi mittausreitin suunnittelun ja sen tarkistuksen maastossa. Reitin valinnassa pyrittiin huomioimaan seuraavat seikat:

- mittaus suoritetaan kolmen päivän aikana
- otoksesta saatava mahdollisimman edustava
- mittausten käytännön suoritus joustava
- aikataulu edellisiä väljempi
- liikenteen häiritsevä vaikutus minimoitava.

Edellisten vertailujen perusteella tiedettiin, että päivän aikana on mahdollista mitata korkeintaan 100 kilometrin reitti kahteen kertaan, mikäli siirtoajoa ei ole liikaa. Mitattavien osuuskien alku- ja loppupisteet pyrittiin sitomaan selviin maastonkohtiin, joskin käytäntö osoitti, että väärinkäsitysten välttämiseksi kannattaa käyttää normaaleja tieosien alku- ja loppupisteitä.

Reittiin valittiin vaihtelevan kuntoisia AB- ja ÖS-teitä. Reitin esivalinnan tekivät Hämeen tiepiirissä Jani Saarinen, Pasi Mäkelä ja Kalle Antniemi. Tätä reittiä täydennettiin myöhemmin huonojen öljysorasteiden osalta. Saadut tulokset osoittivat, että reitinvalinnassa onnistuttiin kohtuullisen hyvin; vaikeinta oli löytää erittäin uraisia AB-teitä.

Taulukossa 1 on lopullinen mittausreitti (ns. perusreitti) ja tutkittavien muuttujien keskiarvot teittäin. Mittausreitin kartta on liitteessä 1.

Taulukko 1. Perusreitti ja tunnusluvut.

osoite tie	tieosat	pituus	keskiarvot ja (hajonnat)		
			URA	URAIIS	IRI
3	134,135	8900	3.6 (1.5)	1.8 (0.6)	1.2 (0.2)
11	3-6	15300	7.7 (3.7)	3.2 (0.9)	1.8 (0.5)
41	26	7100	11.5 (2.0)	4.3 (0.7)	2.2 (0.5)
45	1-3	11800	6.7 (5.4)	3.2 (1.7)	2.2 (0.7)
301	1-2,6-7	26600	2.6 (1.9)	2.7 (1.7)	1.9 (0.7)
2624	3-4,4-3	13100	4.1 (1.9)	9.6 (1.7)	3.9 (0.7)
Yhteensä		82800	5.2 (4.2)	4.0 (3.0)	2.2 (1.1)

Ennen mittauksiin lähtöä mittausmiehistöt kokoontuivat mittaustukikohtaan (Ellivuori), jossa heille selvitettiin mittausten tarkoitus, reitti ja toimintasuunnitelma. Mittausten käytännön johtajana toimi Arto Tevajärvi. Toisen ja kolmannen mittauspäivän aamuna esiteltiin edellisen päivän tuloksia ja kerrottiin päivän toimintasuunnitelma.

Vertailut aloitettiin ajamalla noin 16 kilometrin osuus (Vt 11, Nokia, huonohko AB) autojen senhetkisillä asetuksilla ja ohjelmaversioilla. Testin tulokset ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Testireitin keskiarvot ja F-arvot keskiarvojen eroille (n=158).

Auto	URA	URAIIS	IRI
Kp	8.7	3.2	1.7
H	8.7	3.4	1.7
Ka	8.8	3.3	1.8
V	8.8	3.1	1.7
U	8.2	3.0	1.9
Keskiarvot	8.6	3.2	1.8
Hajonnat	3.4	0.8	0.5
F-arvot	2.0	6.3	8.4
p(F>F)	> 5%	< 1%	< 1%

Testireitin tulosten mukaan autot antoivat urien suhteen samankaltaisia tuloksia. Uraisuudessa autot H ja Ka antoivat muita suurempia tuloksia. IRI:n suhteen auto U antoi muita suurempia arvoja. Nämä testit osoittavat

selvästi, että tilastollisesti merkittäviä eroja (joskin pieniä) on, eli vertailumittauksia tarvitaan.

Testauksen jälkeen VTT (Kari Raunio) päivitti jokaiseen autoon viimeisimmän testatun ohjelmaversion. Lisäksi kalibroitiin kaikkien autojen palkit VTT:n testipalkin avulla. Matkamittarit tarkistettiin hämäläisten mittaradalla. Näiden toimenpiteiden jälkeen autot oli teknisesti kalibroitu mahdollisimman hyvin samalle tasolle.

Perusreitin ensimmäinen kierros suoritettiin pääosin samaan tahtiin. Jokaisen mitattavan osuuden alku- ja loppupisteet oli kirjattu reittiohjeeseen ja ne selvitettiin mittaajille erehdyksen välttämiseksi. Ensimmäisen mittauspäivän aikana saatiin mitattua reitti miltei kokonaan, lukuunottamatta viimeistä ÖS-osuutta, joka jätettiin seuraavalle päivälle.

Toisen mittauspäivän aikana mitattiin aluksi perusreitti uudelleen vapaassa järjestyksessä. Tämän jälkeen siirryttiin suorittamaan muitten osaongelmien tarvitsemia mittauksia. Toisen päivän aikana ehdittiin ajaa vielä LAATU-ohjelman reitti ja toinen tarkkojen mittausten reitti viiteen kertaan.

Kolmantena mittauspäivänä ajettiin toinen tarkkojen mittausten osuus ja tutkittiin lisäksi palkkien pituuden, ajolinjojen ja kuljettajien vaikutusta tuloksiin. Lopuksi kokoonnuttiin Ellivuoreen loppukeskusteluja ja jatko-suunnittelua varten.

Mittauspäivät saatiin suoritettua suunnitelman mukaisesti. Edellisistä vertailuista saadut kokemukset edesauttoivat onnistumista. Myös mittausolosuhteet pysyivät vakiona koko mittauspäivien ajan. Teknisiä ongelmia ei ilmennyt päivien aikana.

3. TUTKIMUSAINEISTO

Alkuperäisen mittausaineiston pituus oli perusreitin osalta 85.5 kilometriä. Kun aineistosta poistettiin alle 100 metrin havainnot (yleensä tieosan viimeiset) sekä mahdolliset muut virheelliset havainnot (esim. kaikki kunto-muuttujat nolli), saatiin aineistoon lopulta 82.8 kilometriä, joilta oli täydelliset tiedot kummaltakin kierrokselta.

Edellisten vertailumittausten tapaan epätasaisuuden arvot logaritmoitiin (merk. LIRI). Tällä operaatiolla pyrittiin vähentämään heteroskedastisuutta. Saadut tulokset osoittivat kuitenkin, että erot ovat samanlaiset sekä IRillä ja LIRillä, joten tulokset raportoidaan pääosin IRin suhteen.

Muiden ongelmien tarvitsemat mittausaineistot kuvaillaan niitä esittelevissä kappaleissa (kappaleet 6-8).

4. MITTAUSTEN TOISTETTAVUUS

Jos autojen tekniikka on kunnossa ja miehistö työskentelee huolellisesti, autojen tulisi tuottaa samoilla osuuksilla tapahtuvissa peräkkäisissä mittauk-

4. MITTAUSTEN TOISTETTAVUUS

sisä samankaltaisia tuloksia. Seuraavissa korrelaatioissa ei ole puututtu autojen kalibroinnista riippuviin mahdollisiin tasoeroihin. Taulukossa 3 on esitetty kahden peräkkäisen mittauksen väliset korrelaatiot kullakin autolla kolmen tarkasteltavan muuttujan osalta:

Taulukko 3 . Korrelaatiot mittausten välillä autoittain (n=828).

Auto	URA	URAI	LIRI
Kp	0.83	0.94	0.94
H	0.90	0.95	0.98
Ka	0.88	0.92	0.95
V	0.80	0.90	0.85
U	0.80	0.92	0.94

Taulukosta näkyy selvästi, että kaikki korrelaatiot ovat korkeita, joskaan täydellisyyteen ($r=1$) ei päästä. Tasaisuuden korkeimmat korrelaatiot osoittavat toistettavuuden olevan edelleen IRI:n suhteen kunnossa. Uraisuuden ja urasyvyyden hieman pienemmät korrelaatiot johtuvat ilmeisimmin ajolinjojen valinnasta.

Mittausten hajonnat $s(y)$ kullakin mittauskohdalla laskettiin kaavalla

$$s^2(y) = (y_1 - y_2)^2 / 2, \quad (1)$$

jossa $E^2(s(y)) = \text{Var}(y)$.

Taulukossa 4 on esitetty kaavan (1) mukaiset hajontojen keskiarvot kullekin autolle ja kuntomuuttujalle.

Taulukko 4. Mittausten hajonnat autoittain (n=828).

Auto	URA	URAI	LIRI
Kp	1.1	0.7	0.2
H	1.5	0.7	0.1
Ka	1.6	0.8	0.1
V	1.9	0.9	0.1
U	1.9	1.0	0.2

Hajonnat ovat pysyneet ennallaan verrattuna edelliseen vertailumittaukseen. Autojen välillä ei ole havaittavissa suuria eroja, joskin auton H hajonnat ovat taulukon perusteella pienimmät. Edellisellä kerralla auto Ka poikkesi muista huomattavasti, mutta on nyt selvästikin muiden kaltainen.

4.1. Yhteenveto

Mittausten toistettavuus on kaikkien muuttujien osalta kunnossa. Korrelaatiot ovat korkeita ja samansuuruisia jokaisella autolla.

5. AUTOJEN VÄLISET EROT

Autojen välisiä eroja vertailtiin kolmesuuntaisella varianssianalyysillä, jossa tutkittiin auton ja mittauskerran vaikutusta mittaustulokseen, kun tieosien erojen vaikutus eliminoidu. Tieosan vaikutus eliminoidu, koska tieosien erilaisella kunnolla on luonnollisesti suuri vaikutus.

Tulokset ovat kuvissa 1-6.

5.1. Urasyvyys

AB-teillä jälkimmäisen kerran keskimääräinen mittaustulos 7.3 on tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin ensimmäisen kerran 7.1. Tämä johtuu lähinnä auton Ka toisen päivän poikkeavista tuloksista.

Tuloksissa poikkeavia arvoja ovat auton U 1.kerran tulos (6.4, $F=4.4$, $p<0.05$) ja 2. kierroksella autojen Ka ja U tulokset (8.2 ja 6.8, $F=6.5$). Keskiarvot ovat kuvassa 1.

Auton U tulosten poikkeavuus muista on ollut keskustelun kohteena jo ennen näitä vertailumittauksia. Auton Ka poikkeama toisella kierroksella syntyi lähinnä teillä 3 ja 41 (leveä AB, kts. liite 4), eikä sille ole löytynyt luontevaa selitystä.

ÖS-teillä ei eroja ollut mittauskertojen välillä. Autot poikkesivat toisistaan siten, että autot Kp ja U saivat pienempiä ja autot H ja Ka suurempia tuloksia kuin muut ($F=18.7$ ja 23.1 , $p<0.001$). Erot ovat säännönmukaisia ja vaativat miettimistä. Tulokset ovat kuvassa 2

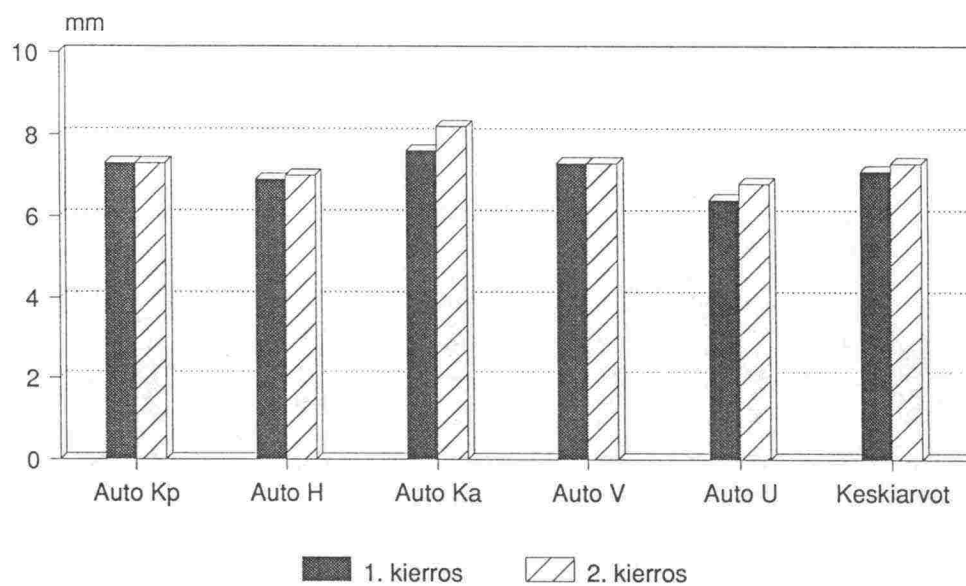
5.2. Uraisuus

Uraisuuden keskiarvot pysyivät samana kummallakin päällysteellä molemmilla kierroksilla. AB-teillä auto Ka antoi muita suurempia tuloksia ja ÖS-teillä auto U ($F=5.9$ ja 8.7 , $p<0.01$). Erot ovat mielenkiintoisia mutta selitystä niille ei ole löytynyt. Tulokset ovat kuvioissa 3 ja 4.

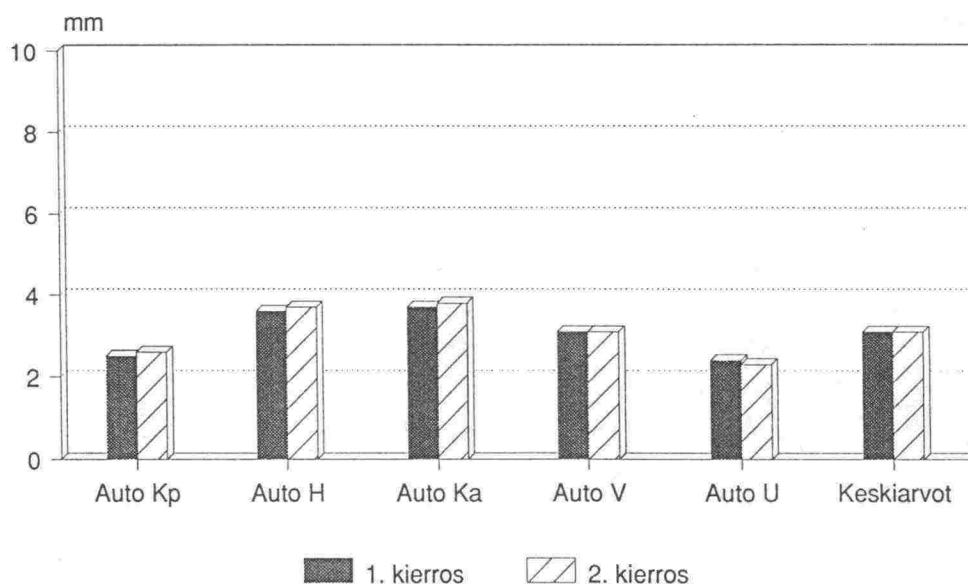
5.3. Tasaisuus

Kertojen ja autojen välillä ei ollut merkitseviä eroja. Tulokset ovat kuvioissa 5 ja 6.

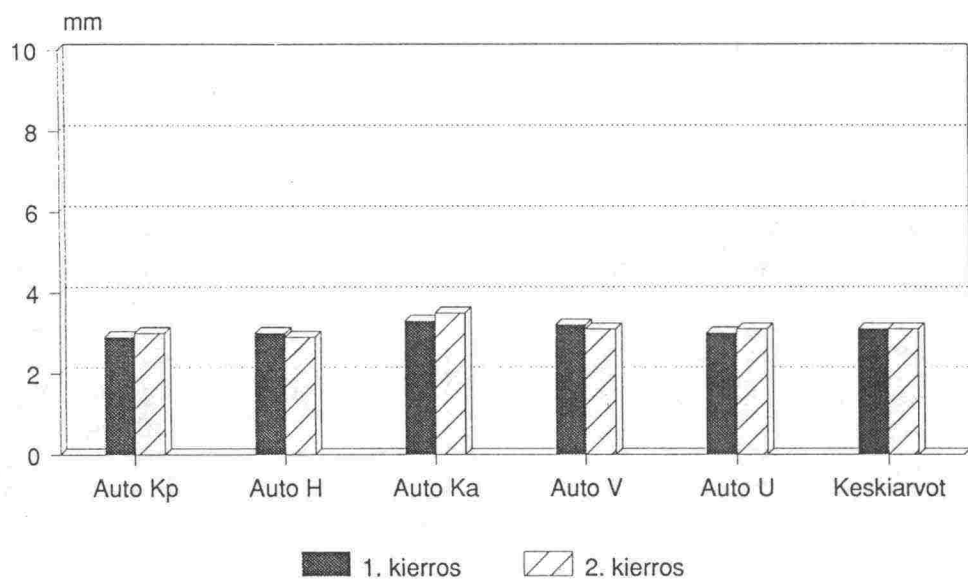
5. AUTOJEN VÄLISET EROT



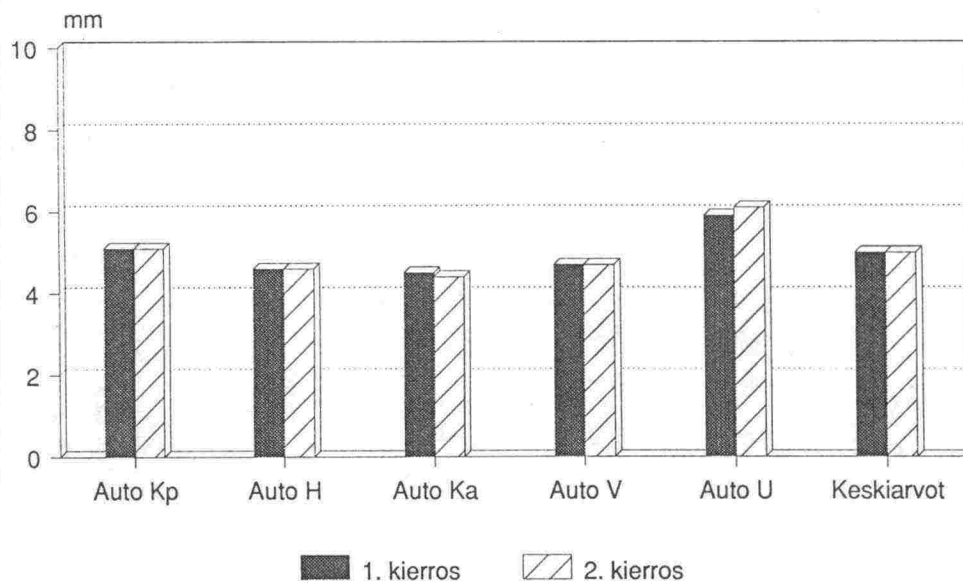
Kuva 1. Urasyvyyden keskiarvot AB-teillä [mm].



Kuva 2. Urasyvyyden keskiarvot ÖS-teillä [mm].

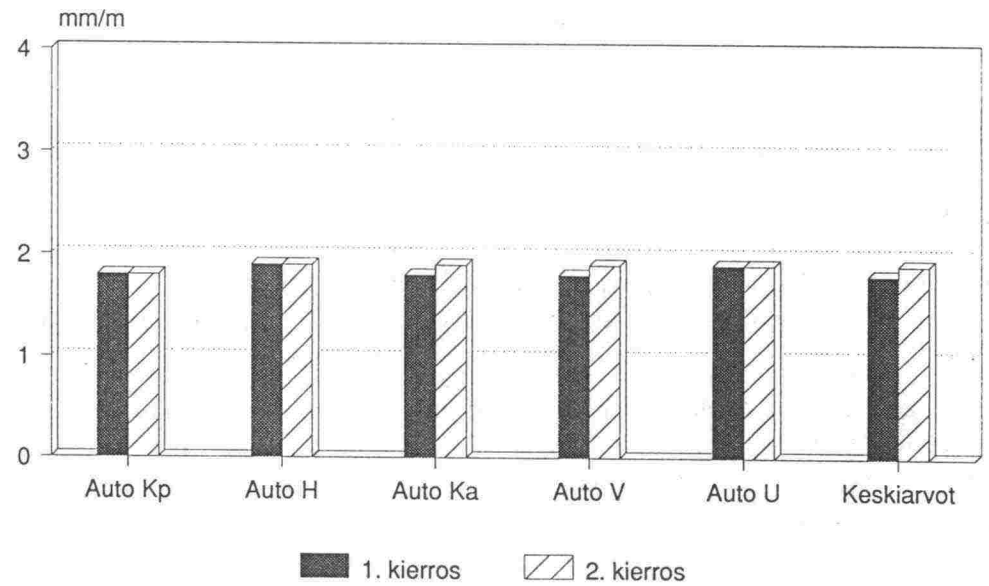


Kuva 3. Uraisuuden keskiarvot AB-teillä [mm].

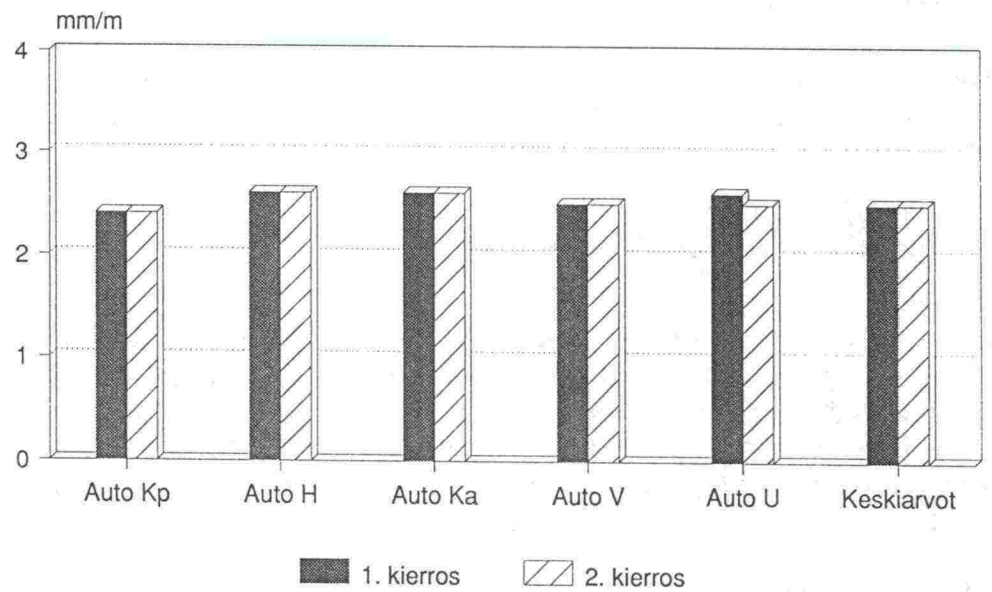


Kuva 4. Uraisuuden keskiarvot ÖS-teillä [mm].

5. AUTOJEN VÄLISET EROT



Kuva 5. Tasaisuuden keskiarvot AB-teillä [mm/m].



Kuva 6. Tasaisuuden keskiarvot ÖS-teillä [mm/m].

5.4. Yhteenveto tuloksista

Tulosten perusteella voidaan todeta, että tasaisuuden mittauksessa ei ole mitään ongelmia. Uraisuuden mittauksessa on kahdella autolla jokin systemaattinen häiriö, joka tulee tutkia.

Urasyvyyden mittauksissa on pieniä ongelmia, koska auto U antaa muista poikkeavia tuloksia. Erot johtuvat todennäköisesti jostain teknisestä ongelmasta. Tämä vaatii tarkempaa selvitystä (Uudenmaan piirin auto vietiin VTT:lle kalibroitavaksi, jonka jälkeen tulokset paranivat). Lisäksi pitää miettiä, mitä autolle Ka tapahtui toisena päivänä teillä 3 ja 41.

Urien laskennassa käytettävää algoritmia on myös tutkittava, sillä nykyinen algoritmi saattaa antaa samallakin tieosalla itseisarvoltaan yhtä suuria mutta erimerkkisiä urasyvyyksiä. Kun tämäntyypisistä arvoista lasketaan pitempien osuuksien keskiarvoja, kumoavat erimerkkiset urat toisensa ja saatu tulos ei kuvaa todellisuutta.

5.5. Palvelutasomittareiden kalibrointi samalle tasolle

Koska erot autojen välillä autoa U lukuunottamatta olivat varsin pieniä, ei ollut tarvetta etsiä kalibrointiyhtälöitä.

6. TARKAT MITTAUKSET

Autojen antamia tuloksia verrattiin kahdella osuudella Dipstickin (epätasaisuus) ja yhdellä osuudella profilometrin (urat) antamiin tuloksiin. Osuudet olivat

- tie 301 uusi päällyste, IRI
- tie 11 vanha päällyste, IRI ja urat.

VTT:n mittaamien osuuksien pituudet olivat profilometrimittauksissa 400 metriä ja Dipstick- mittauksissa 370 metriä, mikä on Dipstick-mittauksen yhden osuuden maksimipituus. Profilometrillä verrattiin urasyvyyttä sekä keski- ja reunauraa ja Dipstickillä IRIä. T-testin avulla testattiin kunkin auton keskiarvon mittausten keskiarvon poikkeamista Dipstickillä ja profilometrillä mitatuista tarkoista arvoista.

6.1. Tie 301, uusi öljysora

Mitattu osuus on uutta (noin vuoden vanhaa) ja hyväkuntoista öljysorapäällystettyä. Taulukon 5 perusteella nähdään, että kaikki autot eroavat huomattavasti tarkoista mittauksista. Vain parissa tapauksessa tulokset ovat lähellä "tarkkoja" arvoja. Näin lyhyillä osuuksilla on satunnaisvirheen mahdollisuus niin suuri, että käytännössä on mahdotonta päästä eri mittareiden tuloksiin kiinni tarpeeksi tarkasti. Pitempien osuuksien mittaaminen Dipstickillä on taas käytännössä erittäin työlästä. Edelliseen vertailututkimukseen verrattuna testisuureet osoittavat paljon pienempiä eroja.

6. TARKAT MITTAUKSET

Reunauran mittauksessa autolla U saatiin negatiivinen keskiarvo (-0.2) ja suuri hajonta (2.4). Tämä osaltaan todistaa sen, että autossa U oli jotain ongelmia ja että urien määrittely tulee miettiä uudelleen.

Taulukko 5. Tie 301, tarkat mittaukset (n=20).

<i>auto</i>	<i>Kp</i>	<i>H</i>	<i>Ka</i>	<i>V</i>	<i>U</i>
URA	2.3	3.6	3.5	3.4	1.3
hajonta	0.8	0.6	0.8	0.8	1.6
t-arvo	-3.3	5.2	3.3	2.8	-4.4
URAn profilometriarvo = 2.9					
Reuna	1.7	2.6	1.6	2.2	2.7
hajonta	0.5	0.8	0.7	0.7	1.3
t-arvo	-8.9	-0.5	-7.0	-3.1	0.0
Reunauran profilometriarvo = 2.7					
Keski	1.2	2.8	3.5	2.8	-0.2
hajonta	0.5	1.0	0.8	1.3	2.4
t-arvo	-8.9	4.4	9.5	3.4	-3.7
Keskiuran profilometriarvo = 1.8					
IRI	1.6	1.9	2.0	1.7	1.9
hajonta	0.3	0.7	0.6	0.3	1.0
t-arvo	-4.4	0.0	0.7	2.9	0.0
IRIn Dipstick-arvo = 1.9					

6.2. Tie 11, vanha AB

Taulukossa 6 on esitetty vastaavat tulokset Vt 11:n osalta; tie on urautunut ja epätasainen. Tulokset on voitu raportoida vain IRIn osalta, sillä tie ehdittiin hoitaa urapaikkauksella, ennen kuin se mitattiin profilometrillä.

Taulukko 6. Tie 11, tarkat mittaukset.

<i>auto</i>	<i>Kp</i>	<i>H</i>	<i>Ka</i>	<i>V</i>	<i>U</i>
IRI	1.5	1.8	1.5	1.6	1.7
hajonta	0.4	0.7	0.5	0.4	0.4
t-arvo	-2.2	0.6	-1.8	-1.1	0.0
IRIn dipstick-arvo = 1.7.					

Tasaisuuden suhteen tulokset ovat melko tarkat, sillä tilastollisesti merkittäviä eroja ei löytynyt. Otos on kuitenkin pieni luotettavaan tutkimiseen, mutta on havaittavaa, että myös edellisessä vertailumittauksessa vastaavuus oli parempi juuri hieman huonompikuntoisilla teillä.

6.3. Yhteenveto

Tulokset osoittavat, että vertailussa on suuria ongelmia, etenkin hyväkuntoisilla teillä. Hieman heikkokuntoisemmalla tiellä (kuten Vt 11), jolla vaihtelu on suurempaa, vertailu on helpompaa. Näin ollen on tarpeellista suorittaa lisätutkimuksia tarkkojen arvojen vertailua varten.

Ennen kalibrointia on huomioitava, että palvelutasomittarit, Dipstick ja profilometri ovat kaikki vain erilaisia tapoja mitata teiden kuntoa. Viimeksi mainitut on tarkoitettu käytettäväksi vain lyhyillä osuuksilla, joten niillä voidaan saada huomattavasti tarkempia tuloksia. Palvelutasomittarit taas on tarkoitettu erittäin nopeaan mittaukseen, jossa tavoitteena on iso mitaussuorite ja tuloksia käsitelläänkin yleensä pitempien osuuksien keskiarvoina, jolloin pienet mittausvirheet eivät vaikuta tulosten käytettävyyteen.

Lisäksi on vielä muistettava, että palvelutasomittareiden tarkoituksena on pikemminkin antaa keskenään samanlaisia tuloksia. Tällöin voidaan koko maassa käyttää yhteneviä standardeja ja tienpitopolitiikan yhtenäisyys saavutetaan tältä osin.

7. LAATU-OHJELMAN TULOKSET

LAATU-ohjelma on tarkoitettu uusien päällysteiden tasaisuuden laadunvalvontamittauksiin. Edellisessä vertailussa ei havaittu eroja.

Ohjelman toimivuuden varmistamiseksi mitattiin kullakin autolla noin 13200 metrin reitti tiellä 301 kolmeen kertaan. Laadultaan tie on uudehkoa öljysorapäällystettyä, palkin leveytenä käytettiin 260 cm. Kaksi ensimmäistä mittausta suoritettiin normien mukaisella nopeudella. Seuraavat vertailut perustuvat näihin kahteen mittaukseen. Kolmas mittaus suoritettiin vapaalla nopeudella ja näin saatiin aineisto nopeuden vaikutuksen testaamiseksi (kts. kappale 8.3).

Autojen tarkempi vertailu suoritetaan tässä tärkeimpien muuttujien suhteen, joita ovat poikkeamaindeksi (PI), tasaisuus (IRI) ja lyhyiden aallonpituuksien tasaisuus (IRI4). Saadut tulokset ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Keskiarvot autoittain ja F-testisuure eroille ($n=5 \cdot 132$).

Auto	Kp	H	Ka	V	U
PI	0.71	0.80	0.85	0.92	0.71
hajonnat	0.86	0.93	1.04	1.18	0.97
maksimiero 0.21					
IRI4	0.94	0.92	0.99	0.97	0.94
hajonnat	0.22	0.19	0.20	0.22	0.21
maksimiero 0.07					
IRI	1.61	1.70	1.72	1.62	1.68
hajonnat	0.40	0.44	0.42	0.40	0.44
maksimiero 0.11					

Autojen antamat poikkesivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi IRI:n ja IRI4:n suhteen. Ero on kuitenkin puhtaasti tilastollinen, sillä käytännössä erot ovat vain sadasosia.

Mittausten toistettavuutta tutkittiin lisäksi kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Saadut tulokset osoittivat, että toistettavuudessa ei ollut ongelmia millään autolla.

LAATU-ohjelmasta voidaan siis jälleen todeta, että autot antavat tuotanto-käytössä samanlaisia tuloksia.

8. MUUT ERITYISKYSYMYKSET

Palvelutasomittareiden käytön aikana saadut kokemukset ovat nostaneet esiin muutamia erityiskysymyksiä, joihin on haluttu saada vastauksia. Näitä ongelmia ovat olleet palkkien pituuden vaikutus, ajolinjojen vaikutus, mittaussopeuden vaikutus ja kuljettajien vaikutus tuloksiin.

8.1. Palkkien pituuden vaikutus

Ennakkokäsityksen mukaan palkin pituuden tulisi vaikuttaa urasyvyyden ja uraisuuden mittaukseen mutta ei tasaisuusmittaukseen. Tätä hypoteesia varten mitattiin tiellä 2624 (kapea ÖS) noin 13 kilometrin reitti kahteen kertaan palkkipituuksilla 260 cm ja 190 cm. Tulokset muuttujittain ovat taulukoissa 8-10.

Urasyvyyden osalta nähdään, että pidempi palkki antaa suurempia urasyvyyksiä kaikilla muilla autoilla, paitsi autolla U. Erot ovat tilastollisesti merkitseviä.

Uraisuuden tapauksessa erot ovat edelleen tilastollisesti merkitseviä ja ennakkokäsityksen suuntaisia. Autolla Kp ei merkitsevää eroa saatu tieosalla 4, mutta tämä voitaneen lukea sattuman tiliin.

Tasaisuuden mittauksessa eroja ei havaittu.

Taulukko 8. Palkkipituuden vaikutus urasyvyyden mittaukseen (n=132).

	Tieosa 3		Tieosa 4	
	260 cm	190 cm	260 cm	190 cm
Auto Kp	2.5	1.6	12.4	3.0
Auto H	5.3	2.6	9.2	4.7
Auto Ka	5.4	3.2	7.1	5.8
Auto V	3.8	1.8	5.8	2.9
Auto U	1.6	1.6	3.2	2.9
Kaikki	3.7	2.1	7.5	3.5
Hajonnat	1.8	1.6	3.8	2.6

Taulukko 9. Palkkipituuden vaikutus uraisuuden mittaukseen (n=132).

	Tieosa 3		Tieosa 4	
	260 cm	190 cm	260 cm	190 cm
Auto Kp	9.8	6.7	5.9	5.6
Auto H	8.7	5.5	7.7	4.9
Auto Ka	8.5	5.4	7.7	4.8
Auto V	9.7	6.4	8.5	5.6
Auto U	13.1	6.9	11.5	5.6
Kaikki	9.9	6.2	8.2	5.3
Hajonnat	3.6	2.6	3.4	2.7

Taulukko 10. Palkkipituuden vaikutus tasaisuusmittaukseen (n=132).

	Tieosa 3		Tieosa 4	
	260 cm	190 cm	260 cm	190 cm
Auto Kp	3.6	3.5	4.2	3.9
Auto H	3.9	3.9	4.5	4.3
Auto Ka	3.8	3.7	4.4	4.3
Auto V	3.7	3.7	4.1	4.1
Auto U	3.7	3.5	4.4	4.1
Kaikki	3.7	3.7	4.3	4.2
Hajonnat	0.8	0.8	0.8	0.7

Saadut tulokset ovat suurimmalta osaltaan ennakkokäsitysten mukaisia: palkin lyhentäminen pienentää urien ja uraisuuden arvoja huomattavasti; tasaisuuteen palkin pituus ei vaikuta.

Auto U käyttäytyi muista poikkeavasti. Aiemmin tässä tutkimuksessa havaittiin jo, että se antaa muita pienempiä urien arvoja. Tämän takia on loogista, että sille ei saatu merkittävää eroa urasyvyyden kohdalla. Outoa on kuitenkin, että uraisuuden kohdalla auton U erot palkkipituuden mukaan ovat muita huomattavasti suuremmat.

Yhteenvedona voidaan todeta, että palkkien pituuden vaikutus on niin merkittävä, että on tarpeellista muodostaa kiinteät normit siitä, milloin mitäkin palkkileveyttä käytetään. Myös eri teiden kunnon vertailussa pitää ehdottomasti huomioida, millä palkkileveydellä mittaukset on suoritettu.

8.2. Ajolinjojen vaikutus

Ajolinjojen vaikutuksesta tutkittiin tiellä Vt 11 noin 6.7 kilometrin osuudella, joka on tarpeeksi leveä myös 340 cm palkille. Ennakkohypoteesien mukaan ajolinjoilla ja palkin pituudella tulisi olla vaikutusta urasyvyyden ja uraisuuden mittaukseen.

Mittaukset suoritettiin seuraavasti:

Auto Kp	reunaviivan tuntumassa	palkki 310 cm
Auto H	normaalilla tavalla	palkki 340 cm
Auto Ka	normaalilla tavalla	palkki 310 cm
Auto V	keskitien tuntumassa	palkki 310 cm
Auto U	urissa	palkki 260 cm

Saadut tulokset ovat taulukossa 11-13. Vertailun vuoksi taulukkoihin on otettu mukaan perusreitin aikana tehdyt saman osuuden mittaukset.

Tuloksista nähdään suoraan, että ajolinjoilla ei ole vaikutusta tasaisuuden mittaukseen.

Urasyvyyden mittauksessa on ajolinjalla ja palkin pituudella selvää vaikutusta. Jos ajetaan liian keskellä tietä, urasyvyys on huomattavasti pienempi (auto V). Jos taas käytetään lyhyempää palkkia ja ajetaan silti oikealla kohdalla, tulokset ovat jälleen normaalia pienemmät (auto U).

Uraisuus tuntuu käyttäytyvän siten, että jos ajetaan keskiharjanteella, saadaan huomattavasti suurempia arvoja (auto V). Lyhyemmän palkin käyttö normaaleilla ajolinjoilla antaa luonnollisesti myös pienempiä uraisuuden arvoja (auto U).

Taulukko 11. Ajolinjan ja palkin vaikutus urasyvyyden mittauskeskiarvoon (n=67).

	perusreitti		ajolinjat
	1.	2. kierros	
Auto Kp	9.7	9.8	9.8
Auto H	9.6	9.4	10.1
Auto Ka	10.3	10.5	10.4
Auto V	9.7	9.6	2.4
Auto U	8.7	9.1	7.5
Kaikki	9.6	9.7	8.1
Hajonnat	3.2	3.4	4.9

Taulukko 12. Ajolinjan ja palkin vaikutus uraisuuden mittauskeskiarvoon (n=67).

	perusreitti		ajolinjat
	1.	2. kierros	
Auto Kp	3.9	4.0	3.9
Auto H	4.0	3.6	4.2
Auto Ka	4.2	4.3	4.4
Auto V	4.0	3.8	6.3
Auto U	3.1	3.0	2.5
Kaikki	3.8	3.7	4.3
Hajonnat	1.3	1.4	2.4

Taulukko 13. Ajolinjan ja palkin vaikutus IRI:n mittauskeskiarvoon (n=67).

	perusreitti		ajolinjat
	1.	2. kierros	
Auto Kp	1.7	1.7	1.7
Auto H	1.8	1.8	1.8
Auto Ka	1.8	1.8	1.8
Auto V	1.9	1.8	1.7
Auto U	1.9	1.9	1.9
Kaikki	1.8	1.8	1.8
Hajonnat	0.7	0.7	0.8

Ajolinjojen ja palkkipituuden valinnasta voidaan tämän tutkimuksen nojalla päätellä, että

8. MUUT ERITYISKYSYMYKSET

- ajolinjoihin tulee kiinnittää tarkkaa huomiota eli mittaus tulee tapahtua ohjeiden mukaisesti ajourassa
- palkkipituuden valinta tulee normeerata, jotta tuloksia voidaan vertailla keskenään.

8.3. Mittausnopeuden vaikutus

Käytettävän mittausnopeuden vaikutusta tutkittiin tiellä 301 LAATU-mittausten yhteydessä. Sama reitti (13.2 km) ajettiin kolmannen kerran läpi vapaata, kohtuullisen korkeaa nopeutta käyttäen. Nopeutena käytettiin noin 80 km/h, kun se normaalisti on 60 km/h. Ennakolta ei nopeuden vaikutuksesta ollut tietoa. Tulokset ovat taulukoissa 14 ja 15.

Taulukko 14. Nopeuden vaikutus tasaisuusmittaukseen (n=132).

muuttuja nopeus	IRI normaali vapaa		IRI4 normaali vapaa	
Auto Kp	1.60	1.59	0.95	0.94
Auto H	1.71	1.65	0.92	0.92
Auto Ka	1.69	1.67	0.99	0.98
Auto V	1.63	1.59	0.99	0.97
Kaikki	1.66	1.62	0.96	0.95

Taulukko 15. Nopeuden vaikutus poikkeamaindeksiin ja maksimikiikityvyyden mittaukseen (n=132).

muuttuja nopeus	Poikkeamaindeksi normaali vapaa		Max.kiihtyvyys normaali vapaa	
Auto Kp	0.68	0.66	1.09	1.08
Auto H	0.81	0.61	1.27	1.23
Auto Ka	0.77	0.75	1.15	1.13
Auto V	0.82	0.86	1.10	1.10
Kaikki	0.77	0.77	1.19	1.14

Tulokset osoittavat selvästi, että korkeammalla nopeudella ei ole mitään vaikutusta tasaisuuden mittaukseen. Maksimikiikityvyydessä eroja on hie-
man, joskin käytännössä vähän (vain 5 sadasosaa).

Tällä kokeilulla ei saatu lisätietoa siitä, miten nopeus vaikuttaa urasyvyy-
den tai uraisuuden mittaukseen, koska käytettiin vain LAATU-ohjelmaa.

8.4. KULJETTAJIEN VAIKUTUS

Perusreitit ja muiden edellä kuvattujen mittausten suorituksessa pysyivät
autojen miehistöt vakiona eli kaikki osanottajat työskentelivät omilla
mittareillaan. Kuljettajat saattoivat siis vaihtua, mutta tutulla mittarilla

työskennellessä voidaan olettaa, että työmenetelmät ovat samat eivätkä ne aiheuta eroja tuloksiin.

Vertailumittausten viimeisenä kokeena annettiin autojen miehistöille mahdollisuudet kokeilla muiden palvelutasomittareja. Kuljettajien vaihto tehtiin ilman ennakkosuunnitelmaa, joten saadut tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Lisäksi vertailua haittaa se, että autoissa U ja Ka havaittiin pieniä eroja urien suhteen, eikä tätä eroa ole poistettu ennen analyysyä.

Mittaukset suoritettiin tiellä Vt 11 osuudella Murhasaari - lääninraja, josta oli jo olemassa mittaustulokset perusreitin mittauksista. Tulokset ovat taulukossa 16.

Tasaisuuden suhteen nähdään jälleen selvästi, että eroja ei ole. Uraisuuden ja urasyvyyden tapauksessa on nähtävissä, että perusreitin mittauksessa saadut erot eivät ole samanlaisia kuin kuljettajan vaihdon jälkeen saadut erot. Kerätty aineisto ja koesuunnittelu eivät kuitenkaan mahdollista tarkempien päätelmien tekemistä, joten asiaa on myöhemmin tarpeellista tutkia seuraavien vertailumittausten yhteydessä. Tätä ennen kannattaa panostaa mittaushenkilöstön koulutukseen ja tarkkuuteen.

Taulukko 16. Kuljettajien vaikutus tuloksiin.

<i>auto</i> <i>(kuskit)</i>	<i>URA</i> <i>perus-</i> <i>reitti</i>	<i>URA</i> <i>kulj.</i> <i>vaihto</i>	<i>URAI</i> <i>perus-</i> <i>reitti</i>	<i>URAI</i> <i>kulj.</i> <i>vaihto</i>	<i>IRI</i> <i>perus-</i> <i>reitti</i>	<i>IRI</i> <i>kulj.</i> <i>vaihto</i>
Kp (2,3)	9.8	8.5	4.0	3.1	1.7	1.7
H (3,5)	9.4	9.1	3.6	3.2	1.8	1.8
Ka (5)	10.5	9.6	4.3	3.6	1.8	1.8
U (1)	9.1	10.8	3.0	4.2	1.8	1.9

8.5. Heittojen ja painumien sijainti

Palvelutasomittarit rekisteröivät jokaiselle 100 metrin osuudelle maksimikiikhtyvyyden arvon ja sen sijainnin ko. osuudella. Jos mittarit toimivat täydellisesti, osuvat nämä maksimikohdat samoille paikoille (+/- 10 metriä), mikäli lähtöpiste on tarkka ja matkamittarit ovat kunnossa.

Asian testausta varten ajettiin tiellä 2624 noin 13 kilometrin reitti neljällä autolla (ei auto V) ja vertailtiin heittojen ja painumien sijainti. Vertailu tehdään kuvailevalla tasolla, sillä sopivaa tilastollista testiä ei ole. Tulokset ovat taulukossa 17.

Taulukko 17. Maksimikihtiyyksien paikan rekisteröinti, sama paikka=+-10m.

	kpl	%
kaikilla sama paikka	37	28
samaa + 1 eri paikka	41	31
samaa + 2 samaa paikkaa	27	21
samaa + 1 eri + 1 eri paikka	22	17
kaikki eri paikoissa	4	3
yhteensä	131	100.

Mitattu osuus on huonokuntoista öljysoratietä. Tulokset ovat kohtuullisia, sillä vain neljässä tapauksessa kaikki autot antoivat eri tuloksen ja noin 60 prosentissa tapauksista vähintään 3 autoa löysi maksimikihtiyyden samasta paikasta.

9. MITTAREIDEN ITSENÄINEN KALIBROINTI

Keskitettyjen vertailumittausten lisäksi on tarpeellista luoda jokin yksinkertainen systeemi, jonka avulla kukin miehistö voi itsenäisesti testata oman autonsa toiminnan. Testauksessa on kaksi eri lähestymistapaa, jotka ovat

- auton tulosten reliabiliteetti l. sisäinen luotettavuus
- auton tulosten validiteetti l. vertailtavuus muihin nähden

Autojen reliabiliteetti on yksinkertaisempaa testata, sillä se vaatii vain jonkin reitin ajamisen kahteen kertaan ja tulosten tilastollisen analysoinnin, jonka voi tehdä joko manuaalisesti tai käytännössä helpommin tekemällä ohjelman, joka automaattisesti tutkii kahden mittauksen tulosten eron.

Validiteetin testausta varten jokaista mittaria varten kannattaa etsiä oma mittarata joltain vähäliikenteiseltä tieltä läheltä tukikohtaa. Tämä mittarata mitataan jokaisen onnistuneen vertailumittauksen jälkeen, jolloin saadaan reitille perusarvot. Auto voidaan tämän jälkeen testata säännöllisin väliajoin, jolloin nähdään tarpeeksi ajoissa mahdolliset muutokset tai viat kalibroinnissa ja laitteissa. Vertailu on aluksi tehtävä manuaalisesti, mutta jatkossa kannattaa tehdä valmis ohjelma, jonka avulla tulokset tutkitaan tilastollisesti.

10. PÄÄTELMÄT

Tässä raportissa kuvattu vertailumittaustapahtuma on ollut jo kolmas laatuaan Suomessa. Tällä kertaa tutkittavia asioita oli enemmän ja aikaisempien kokemusten avulla järjestelyt ovat sujuneet paremmin, joskin ohjeistus tulisi olla vieläkin tarkempaa.

Tutkimuksessa tehtyjen tilastollisten analyysien perusteella voidaan tehdä seuraavia päätelmiä:

10.1. Sisäinen luotettavuus

Kaikilla autoilla mittausten toistettavuus oli erittäin hyvä. Korkean toistettavuuden ylläpitäminen vaatii teknisesti hyvät laitteet ja tarkkaa mittaustyötä, johon autojen miehistöt tuntuvat pystyvän kautta linjan.

10.2. palvelutasomittareiden väliset erot

Tasaisuuden suhteen autot antavat erittäin hyvin samoja tuloksia. Urasyvyydessä ja uraisuudessa on joitakin tasoeroja. Auto U kalibroitiin uudelleen ja tulokset paranivat välittömästi. Muut havaitut erot (lähinnä Ka ja Kp) vaativat hieman lisäselvittelyä.

10.3. Tarkat arvot

Kaikkien autojen antamat tulokset eroavat merkittävästi tarkoista arvoista. Kalibroituus ei ole kovinkaan hyvä, joten tätä ongelmaa on suositeltavaa tutkia tarkemmin vain, mikäli eri mittaustapojen vastaavuudesta yleensäkin ollaan kiinnostuneita. Erot olivat kuitenkin pienentyneet edellisiin vertailuihin nähden.

10.4. LAATU-ohjelma

Autojen välillä oli tilastollisesti merkittäviä eroja, jotka olivat kuitenkin vain muutamia sadasosia, joten niillä ole mitään käytännön merkitystä.

10.5. Palkin pituus ja ajolinjat

Mittaukset tulee ehdottomasti suorittaa aina tielle sopivalla palkin pituudella. Tämä kannattaa ohjeistaa tarkasti. Samalla tulee kertoa, että ajolinjojen vaikutus on myös ratkaiseva.

10.6. Mittausnopeus

Mittausnopeudella ei ole vaikutusta tasaisuuden mittaukseen. Urasyvyyden ja uraisuuden osalta asiaa ei tutkittu.

10.7. Kuljettajien vaikutus

Kuljettajalla on pientä vaikutusta tuloksiin. Koejärjestely ei kuitenkaan mahdollista tarkempien päättelyjen tekoa, joten asia tulee tutkia tarkemmin.

10.8. Heitot ja painumat

Heittojen ja painumien rekisteröinti huonokuntoisella ÖS-tiellä onnistui kohtuullisen hyvin.

Lopuksi esitetään vielä näiden vertailumittauspäivien anti positiivisina ja negatiivisina seikkoina.

Positiiviset seikat

- + yhteistyö asianosaisten välillä parantunut ja on hyvä
- + laitteiden tekniikka saatu parempaan kuntoon
- + tasaisuuden mittaus on edelleen kunnossa
- + urasyvyyden mittaus huomattavasti parempi kuin aikaisemmin
- + ajolinjat ja palkkien pituudet vaikuttavat oletetulla tavalla

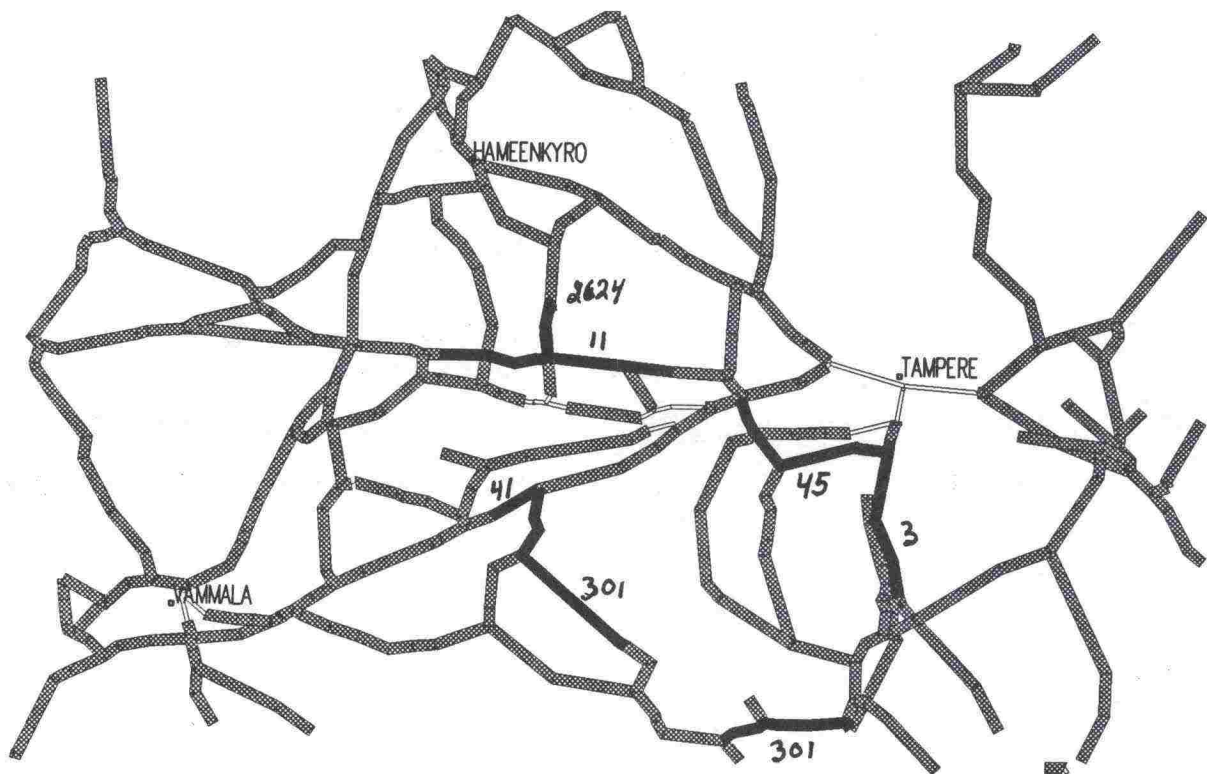
Negatiiviset seikat

- pari selittämätöntä eroa tuloksissa
- tarkat arvot poikkeavat autojen tuloksista
- kuljettajien vaikutus tuloksiin jäi epäselväksi
- palaute vertailuista on saatava entistä nopeammaksi

11. KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1989. Julkaisematon raportti. Tiehallitus ja Statistical Computing Oy.
2. Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1990. TIEL 3200008.
3. SAS Institute Inc., SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC, USA.

Liite 1. MITTAUSREITIN KARTTA



Liite 2. OSANOTTAJALUETTELO

PTM-vertailututkimus 27.5 - 29.5.1991

Läsnäolijat

Hannu Niittumäki	TIEL/Uusimaa
Hilkka Tsupari	TIEL/Uusimaa
Jyrki Immonen	TIEL/Turku
Kalle Antniemi	TIEL/Häme
Pasi Mäkelä	TIEL/Häme
Jani Saarinen	TIEL/Häme
Veikko Niemelä	TIEL/Keski-Pohjanmaa
Matti Typpö	TIEL/Keski-Pohjanmaa
Seppo Järvinen	TIEL/Kainuu
Eero Väisänen	TIEL/Kainuu
Kari Uutela	TIEL/Oulu
Arto Tevajärvi	TIEH/Tk
Kari Rainio	VTT/INS
Tapio Jousinen	VTT/TGL
Kimmo Lyra	VTT/TGL
Antti Seise	VTT/TGL
Vesa Männistö	Statcomp Oy

Liite 3. TIEOSAKOHTAISET KESKIARVOT

Tieosakohtaiset keskiarvot urasyvyydelle

	<i>tie 3</i>		<i>tie 11</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	3.6	3.3	8.0	7.9
Auto H	3.1	3.2	7.9	7.6
Auto Ka	3.5	4.7	8.2	8.6
Auto V	3.9	4.0	8.1	7.8
Auto U	3.3	4.0	6.7	6.5

	<i>tie 41</i>		<i>tie 45</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	11.6	11.8	6.8	6.7
Auto H	11.8	12.0	5.4	6.0
Auto Ka	11.1	12.3	7.7	7.8
Auto V	12.0	11.8	6.4	6.6
Auto U	10.3	10.4	5.8	6.9

	<i>tie 301</i>		<i>tie 2624</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	2.3	2.5	3.0	2.9
Auto H	2.8	2.8	5.3	5.4
Auto Ka	2.8	3.2	5.6	5.2
Auto V	2.8	2.9	3.7	3.5
Auto U	1.9	1.9	3.3	3.2

Tiekohtaiset keskiarvot uraisuudelle

	<i>tie 3</i>		<i>tie 11</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	1.6	1.5	3.2	3.2
Auto H	1.5	1.5	3.3	3.1
Auto Ka	2.0	2.1	3.6	3.6
Auto V	1.7	1.7	3.4	3.2
Auto U	2.2	2.2	3.0	3.0

	<i>tie 41</i>		<i>tie 45</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	4.4	4.5	2.8	2.9
Auto H	4.3	4.4	2.8	2.9
Auto Ka	4.2	4.9	3.5	3.5
Auto V	4.6	4.5	3.2	3.1
Auto U	3.8	3.8	3.2	3.4

	<i>tie 301</i>		<i>tie 2624</i>	
	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>	<i>1.kierros</i>	<i>2.kierros</i>
Auto Kp	2.6	2.7	10.2	10.1
Auto H	2.4	2.6	9.0	8.8
Auto Ka	2.5	2.3	8.7	8.7
Auto V	2.5	2.4	9.4	9.4
Auto U	3.5	3.5	10.9	11.5

Liite 4. TARKENNUS EDELLISEEN VERTAILUUN

Edellisessä vertailumittauksessa (PTM-vertailumittaukset 1990, TIEL 3200008) tutkittiin urasyvyyden sijasta maksimiuran käyttäytymistä. Koska urasyvyys on kuitenkin laitoksen virallinen uramuuttuja, esitetään tässä lyhyesti viime raportin päätulokset myös urasyvyyden kohdalla.

Yleisesti voidaan todeta, että näin suurilla havaintomäärillä (noin 1000 havaintoa) erot maksimiuran ja urasyvyyden suhteen ovat samansuuntaiset ja tilastollisesti yhtä merkitseviä. Edellisessä raportissa tehdyt päätelmät pitävät myös urasyvyyden kohdalla.

Sivut 12-13. Mittausten toistettavuus

Korrelaatiot urasyvyydelle (taulukko 4.1):

Auto	V	T	H	K
Urasyvyys	0.87	0.85	0.91	0.38

Mittausten hajonnat autoittain (taulukko 4.2):

Auto	V	T	H	K
Urasyvyys	1.58	1.47	1.35	6.21

Sivut 13-14. Urasyvyydet autoittain

Auto	V	T	H	K
Urasyvyys	12.7	9.1	9.4	13.0

Sivut 15-16. Urasyvyyden kalibrointi autojen välillä

Autot kalibroitiin samalle tasolle siten, että kalibrointitasoksi valittiin autojen T ja H keskiarvo (merk. URA). Yhtälöiksi saatiin

URA	=	$1.0 + 0.93 * \text{ura}(T)$	$R^2 = 0.95$
	=	$4.7 + 0.36 * \text{ura}(Ka)$	$R^2 = 0.24$
	=	$-2.1 + 0.88 * \text{ura}(V)$	$R^2 = 0.77$
	=	$0.0 + 0.97 * \text{ura}(H)$	$R^2 = 0.95$

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 12/1991 Selvitys nopeuden alentamiskeinoista taajamateilla. TIEL 3203613
- 13/1991 Selvitys nopeusrajoitusten määrittämisestä ja vaikutuksista. TIEL 3200011
- 14/1991 Jalankulkijan ja pyöräilijän vammautumisesta liikennealueilla. TIEL 3200012
- 15/1991 Liikenneinvestoinneista päättäminen; Arvio suunnittelunäkemyksestä. TIEL 3200013
- 16/1991 Paristotyyppin ja ympäristön lämpötilan vaikutus varoitusvilkun toimintaan. TIEL 3200014
- 17/1991 The Effect of Battery Type and Ambient Temperature on the Operation of Warning Flashers. TIEL 3200015E
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 19/1991 Liikennetunnelien kuivatus- ja lämpöeristysrakenteet. TIEL 3200018
- 20/1991 Kunnossapidon tuloksen mittaus. TIEL 3200019
- 21/1991 Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. TIEL 3200020
- 22/1991 Tiekohtaiset nopeusrajoitukset ja onnettomuudet 1984 - 1988. TIEL 3200021
- 23/1991 Kiertoliittymät ja niiden välityskyky. TIEL 3200022
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tierakenteen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet. TIEL 3200024
- 26/1991 Joukkoliikenne; Kirjallisuusselvitys ja -referaatit. TIEL 3200025
- 27/1991 Kauhavan taajamatien saneerauksen vaikutukset. TIEL 3200026
- 28/1991 Kuormausjärjestelyt teiden kunnossapidossa. TIEL 3200027
- 29/1991 Collisions with Road Structures and Appurtenances. TIEL 3200028E
- 30/1991 Tien hoitoajoneuvojen vahinkotutkimus. TIEL 3200029
- 31/1991 Polttoaineen hinnannousun vaikutus autonkäyttöön. TIEL 3200030
- 32/1991 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1991. TIEL 3200031
- 33/1991 Hirvieläinonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201921-91
- 34/1991 Hankasalmen ja Kauhavan taajamakuvatarkastelu. TIEL 3200032
- 35/1991 Tietullit ja kiinteät tienkäyttömaksut, optimaalinen maksujärjestelmä tieliikennesektorille. TIEL 3200033
- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3201870
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870